



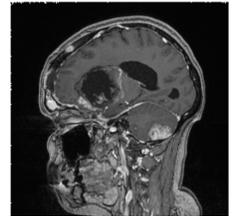
Hot Points en Resonancia Magnética

Rodolfo Grosso - Franco Símini

Núcleo de Ingeniería Biomédica de las Facultades de Medicina e Ingeniería,
Universidad de la República - Uruguay

RESUMEN

La Imagenología por Resonancia Magnética utiliza el fenómeno físico de la resonancia magnética en núcleos de átomos de hidrógeno del tejido para obtener imágenes de slices del cuerpo humano. Las explicaciones del fenómeno corresponden a mecánica cuántica y, en principio, no se debe esperar que la mecánica clásica los explique. Sin embargo, algunos procesos microscópicos pueden explicarse con mecánica clásica. Con frecuencia se encuentran en la literatura explicaciones clásicas incompletas o erróneas de algunos puntos. Llamamos a estos puntos **Hot Points** en Resonancia Magnética y los presentamos con desarrollos completos y consistentes.



INTRODUCCIÓN

Históricamente ha estado presente la dualidad clásico-cuántica en la explicación del fenómeno de Resonancia Magnética Nuclear, lo que ha sido reafirmado por Hanson en [1]. Esto nos permite analizar ciertos puntos utilizando mecánica clásica con demostraciones detalladas.

PRECESIÓN DE LOS SPINS AL APLICAR UN CAMPO MAGNÉTICO

Los spins en su estado libre tienen cualquier dirección y módulo fijo. Al aplicar un campo precesan a frecuencia de Larmor.

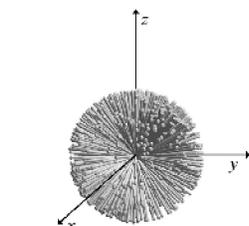


Fig. 1 – Representación de los spins pertenecientes a dos conos y se habla de vectores paralelos y antiparalelos al campo. Esto no es correcto. Extraída de [2].

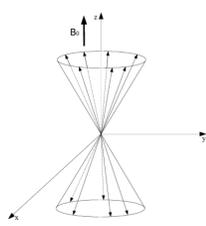


Fig. 2 – Usualmente se muestra que todos los spins pertenecen a dos conos y se habla de vectores paralelos y antiparalelos al campo. Esto no es correcto.

Los spins tienen una distribución cuasi-isotrópica, unos pocos más según el campo. El error en Fig. 2 proviene de llevar la idea de estados propios cuánticos al mundo clásico. Los spins precesan con cualquier ángulo y si son observados (lo que no es posible) colapsan a un estado propio [2].

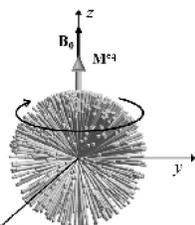


Fig. 3 – Spin-globe con la distribución cuasi-isotrópica. Extraída de [2].

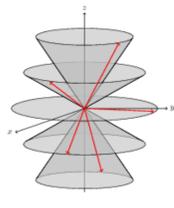


Fig. 4 – Cada spin precesa en un cono de apertura el ángulo inicial que forma con el campo [4].

DESFAJAJE DE SPINS EN LA SECUENCIA SPIN-ECHO

Para el desarrollo consideramos las resultantes de conjuntos de spins isocromáticos. Al aplicar el pulso de RF todo el spin-globe rota 90°.

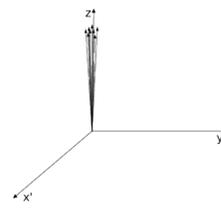


Fig. 9 – Resultantes de conjuntos de isocromáticos.

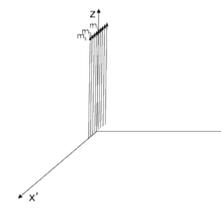


Fig. 10 – Resultantes de conjuntos de isocromáticos muy cercanos a la frecuencia de resonancia.

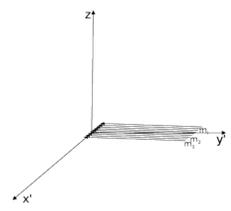


Fig. 11 – Resultantes de la figura 10 luego de aplicar el pulso de 90°.

Los spins se desfazan por efecto de la interacción spin-spin y de las no homogeneidades del campo. Este último es en general un efecto no deseado que enmascara el primero, que proviene del tejido y que es el que queremos medir. Se muestra cómo se soluciona con la secuencia spin-echo haciendo claro la utilización de vectores resultantes de isocromáticos.

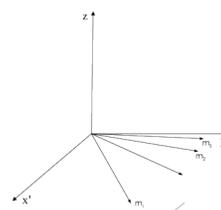


Fig. 12 – Desfase de las resultantes producido por interacción spin-spin y no homogeneidades del campo.

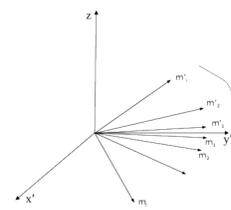


Fig. 13 – Como consecuencia del pulso de 180° comienza un giro en sentido inverso y se produce el eco.

EQUILIBRIO TÉRMICO Y MAGNETIZACIÓN NETA

Se presenta una demostración de cómo se llega al equilibrio térmico y aparece la magnetización neta mediante mecánica estadística. Utilizamos macroestados y microestados del sistema formado por el conjunto de los spins y el lattice. Se toma como base el desarrollo de Szántay [2].

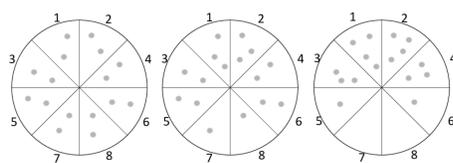


Fig. 5 – Macroestados de un hipotético conjunto simple de spins según decrece la energía potencial.

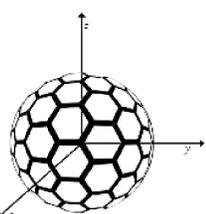


Fig. 6 – Celdas en el spin-globe. Son como los sectores de la figura anterior.

número microestados	E _p more negative		
	número macrostate 1	número macrostate 2	número macrostate 3
↓	300	150000	90000
↓	5000	2500000	1500000
↓	300000	50000000	30000000
↓	20000	30000000	6000000
↓	7000	3500000	2200000
↓	4000	2000000	1200000
↓	2000	1000000	600000
↓	1000	500000	300000

Fig. 7 – Ejemplo de escritorio de macroestados del conjunto formado por los spins y el lattice. Se muestra un macroestado de mayor probabilidad que, por termodinámica estadística, será el de equilibrio.

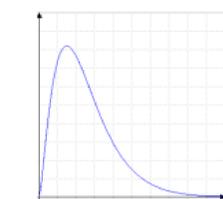


Fig. 8 – Probabilidad de macroestados del lattice al variar la energía potencial del conjunto de spins.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Nuestro artículo está inspirado en realizar una contribución original con explicaciones sobre ciertos puntos y aclarar las inconsistencias encontradas en la literatura de RMN. Será de ayuda a investigadores en un nivel de aprendizaje intermedio sobre el tema. ¿Podría ser que el análisis realizado tenga algún efecto en los diagnósticos? La respuesta es no. La mayoría de los desarrollos de RMN se basan únicamente en la mecánica cuántica.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Lars G. Hanson, "Is Quantum Mechanics necessary for understanding Magnetic Resonance?" <http://www.drcmr.dk/Docs/IsQuantumMechanicsNecessaryForUnderstandingMagneticResonance.pdf>, pp. 1–31, Sep 2008, Danish Research Centre for Magnetic Resonance (DRCMR).
- [2] Csaba. Szántay Jr., Anthropic Awareness: The Human Aspects of Scientific Thinking in NMR Spectroscopy and Mass Spectrometry, 1st ed. Elsevier, Jun 2015.
- [3] Lars G. Hanson, "Introduction to Magnetic Resonance Imaging Techniques," <http://eprints.drcmr.dk/37/1/MRIEnglish4.pdf>, pp. 1–48, Aug 2009, Danish Research Centre for Magnetic Resonance (DRCMR).
- [4] Malcolm H. Levitt, Spin dynamics: Basics of Nuclear Magnetic Resonance, 2nd ed. John Wiley Sons Ltd, Mar 2001.